

应正河, 柯斌榕, 卢政辉, 等. 双孢蘑菇不同含氮量培养料隧道发酵过程中理化性质变化及其对产量的影响 [J]. 福建农业学报, 2020, 35 (3): 331–336.

YING Z H, KE B R, LU Z H, et al. Physicochemical Properties of Composts with Varied Nitrogen Content in Tunnel Composting and Effect on Yield of *Agaricus bisporus* [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 35 (3): 331–336.

双孢蘑菇不同含氮量培养料隧道发酵过程中理化性质变化及其对产量的影响

应正河^{1,2}, 柯斌榕^{1,2}, 卢政辉^{1,2*}, 兰清秀^{1,2}, 廖剑华^{1,2}

(1. 福建省农业科学院食用菌研究所, 福建 福州 350014; 2. 特色食用菌繁育与栽培
国家地方联合工程研究中心, 福建 福州 350014)

摘要:【目的】分析不同含氮量培养料在隧道发酵过程中的理化性质变化, 为优化蘑菇培养料配方提供参考依据。【方法】以麦秆、鸡粪为主要原料, 采用隧道发酵技术制备含氮量为 1.15% (T1)、1.35% (T2) 以及 1.55% (T3) 共 3 个处理的双孢蘑菇培养料。测定不同堆制时期培养料的含水量、灰分、含氮量及 pH, 并统计各处理不同潮次蘑菇产量。【结果】在培养料堆制发酵过程, 培养料含氮量比例呈上升趋势, 处理 T3 二次发酵料含氮量最高, 为 2.28%, 显著高于处理 T1。培养料 pH 呈现先升后降的趋势, 总体呈弱碱性, 处理 T3 一次料以及二次料的 pH 最高, pH 和原料的含氮量呈正相关性。培养料含水量都随着发酵过程不断降低, T3 处理的二次料含水量最低, 为 65.78%, 符合蘑菇生长需求。培养料灰分则随着发酵过程不断提高, T1 处理初始灰分最低, 发酵结束后二次培养料灰分为 30.92%, 较其他两个处理低。含氮量较高的培养料其总产量更高, 处理 T3 产量最高, 为 20.74 kg·m⁻²。【结论】不同含氮量培养料发酵过程中, 培养料理化性质变化较大, 含氮量 1.55% 的培养料蘑菇产量最高, 适合双孢蘑菇工厂化栽培。

关键词: 双孢蘑菇; 理化性质; 隧道发酵; 二次发酵; 含氮量; 产量

中图分类号: S 646

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2020) 03-0331-06

Physicochemical Properties of Composts with Varied Nitrogen Content in Tunnel Composting and Effect on Yield of *Agaricus bisporus*

YING Zheng-he^{1,2}, KE Bin-rong^{1,2}, LU Zheng-hui^{1,2*}, LAN Qing-xiu^{1,2}, LIAO Jian-hua^{1,2}

(1. Institute of Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350014, China; 2. National and Local Joint Engineering Research Center for Breeding & Cultivation of Featured Edible Fungi, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350014, China)

Abstract: 【Objective】Physicochemical properties of composts with varied nitrogen (N) contents during tunnel composting were analyzed to provide the basis for optimizing the formula of *Agaricus bisporus* substrate. 【Method】Wheat straws and chicken manure were blended to result in starting compost materials with varied N contents at 1.15% (T1), 1.35% (T2), and 1.55% (T3) for the tunnel composting. Samples at different composting stages were taken for measurements on moisture, ash, and N contents as well as pH. Yields of mushrooms grown on the composts from Phase I and Phase II of the composting process were compared for evaluation. 【Result】In all cases, the N content in compost increased continuously during the fermentation process. Collected after Phase II, the 2.28% of N content from T3 was significantly higher than T1. The generally weak alkaline compost had a pH increased initially followed by a decline. The pH of T3 in either Phase I or Phase II was the highest among all samples. A correlation between the pH and N content in compost was observed. The moisture content decreased continuously during the fermentation showing a minimum at 65.78% on T3 in Phase II which was considered suitable for the mushroom cultivation. The ash content increased continuously along the composting. Among the various N levels, T1 had the lowest ash content at the beginning and remained the lowest with a content of 30.92% at the end of Phase II.

收稿日期: 2020-01-20 初稿; 2020-03-12 修改稿

作者简介: 应正河 (1979-), 男, 硕士, 副研究员, 主要从事食用菌栽培及育种研究 (E-mail: 19258034@qq.com)

* 通信作者: 卢政辉 (1973-), 男, 高级工程师, 主要从事食用菌栽培和病虫害防治研究 (E-mail: 417088586@qq.com)

基金项目: 福建省科技计划公益类专项 (2017R1020-3、2016R1019-1); 福建省食用菌产业体系岗位专家项目 (2019)

The compost with a higher N content during tunnel composting produced higher mushroom yield, as the greatest yield of 20.74 kg·m⁻² was found on T3. 【Conclusion】 The physicochemical properties of the compost during tunnel composting changed significantly with varied N contents in the raw material. The mushroom yield reached the highest level under T3 when 1.55% N was formulated in the starting compost materials. Thus, T3 was recommended for commercial *A. bisporus* cultivation.

Key words: *Agaricus bisporus*; physicochemical properties; tunnel composting; Phase II fermentation; nitrogen content; mushroom yield

0 引言

【研究意义】双孢蘑菇 (*Agaricus bisporus*) 是一种草腐型食用菌，目前在全球范围内广泛栽培，主产区包括美国、荷兰、波兰、爱尔兰、加拿大等欧美国家及中国。据中国食用菌协会统计，2017 年我国双孢蘑菇总产量达到 289.52 万 t，位列各食用菌品种第四位^[1]。我国双孢蘑菇栽培从传统季节栽培开始，随着近些年欧美发达国家双孢蘑菇工厂化设备和技术的引进和吸收转化，国内部分食用菌厂商也开始进行双孢蘑菇工厂化栽培的尝试，且发展势头强劲。而工厂化栽培中培养料的性质是决定双孢蘑菇品质的关键。【前人研究进展】工厂化双孢蘑菇栽培过程中，培养料一般通过隧道发酵进行制备。隧道发酵技术最早由意大利人发明，并于 20 世纪 70 年代成功应用到荷兰及法国双孢蘑菇生产当中。隧道发酵早期只用于二次发酵，随着集中发酵原理研究的深入，一次发酵也开始采用开放式隧道进行发酵^[2]。当前工厂化双孢蘑菇栽培主要以麦秆、鸡粪为主要原料，通过隧道发酵技术转化为适于蘑菇栽培的选择性培养料。当前蘑菇培养料发酵理化性质方面的研究较多，如张昊琳等^[3]关于不同基质培养料理化性状与双孢蘑菇产量及农艺性状方面的研究结果表明，出菇期培养料含水量是提高蘑菇产量的关键。蒋毅敏等^[4]通过配方碳氮比试验表明，培养基料中碳氮比为 25.4 : 1 时，双孢蘑菇的产量最高。许修宏等^[5]通过隧道二次发酵培养料含氮量从 1.58% 增加到 1.85%，pH 值从 8.7 下降到 7.5，表明通过隧道二次发酵技术可以制备符合双孢蘑菇生长需要的培养料。朱燕华等^[6]通过研究培养料发酵过程中的 pH、电导率、含水量、灰分、碳氮比等理化性质的变化情况，对稻、麦秸秆配方工厂化栽培双孢蘑菇进行比较，获得了适于工厂化栽培的稻草秸秆配方。【本研究切入点】目前培养料隧道式发酵是双孢蘑菇工厂化栽培的关键环节，而不同含氮量培养料一次隧道发酵和二次隧道发酵过程中理化性质变化及其对出菇产量的影响的相关研究还较少。【拟解决的关键问题】本研究通过配制不同含氮量培养料配方，比较一次隧道发酵和二次隧道发酵过

程中各处理理化性质的变化，以期为蘑菇培养料配方优化及与后续产量、质量相关性研究提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试双孢蘑菇菌株

试验采用双孢蘑菇菌株为 W192，由福建省农业科学院食用菌研究所提供并保藏。

1.2 试验材料

试验采用传统麦草+鸡粪配方，主要原材料为麦草秸秆、鸡粪、豆粕以及石膏，原材料各理化参数见表 1。麦草秸秆长度在 30 cm 左右，新鲜、足干，无霉变；鸡粪新鲜、颗粒状；豆粕呈颗粒状，无霉变异味；石膏纯净无杂质。

表 1 原材料部分理化性质				
Table 1 Physicochemical properties of raw materials				
原料 Raw material	含氮量 Nitrogen content/%	含碳量 Carbon content/%	含水量 Moisture content/%	灰分 Ash content/%
麦秆 Wheat straw	0.48	46.50	15.32	8.11
鸡粪 Chicken manure	3.80	45.00	70.27	19.92
豆粕 Soybean meal	7.2	45.4	9.6	6.8

1.3 培养基质配方

目前隧道发酵配方碳氮配比多在 1.20%~1.50%，本研究根据原料的含氮量进行配方设计，设置含氮量分别为 1.15% (T1)、1.35% (T2) 以及 1.55% (T3) 的 3 个处理配方。配方 T1：麦秆 20 t，鸡粪 16.25 t；配方 T2：麦秆 20 t，鸡粪 16.25 t，豆粕 0.10 t；配方 T3：麦秆 20 t，鸡粪 22 t，豆粕 0.55 t，此外各处理石膏添加量为 5.5% 左右。

1.4 培养料制备及出菇方法

培养料采用隧道集中发酵工艺，并采用荷兰 AEM 公司隧道发酵控制系统进行温度控制，以保持各处理在隧道发酵过程具有相同的发酵条件。第 1 d 将麦草浸入含有鸡粪的泡料池进行预湿，然后进行建堆，建堆高度 2.0~2.5 m，宽 5 m，长度不限。添加辅料（石膏和豆粕），再通过抛料机进行填料，开始一次隧道发酵，抛料高度 3 m 左右，开启风机进行通风升温，根据升温情况，控制风机间隔运行时

间，料温控制在 75~85℃，每隔 4 d 翻堆 1 次，共翻堆 3 次。二次隧道发酵控制参考文献 [7]，填料高度 2.2~2.5 m，通过风机控制通气量大小以及调节新风供应进行堆料温度调整，整个二次发酵过程分为平衡、升温、巴氏消毒、降温、控温培养及降温出料几个阶段，出料前测定氨气浓度，低于 0.005% 才能够进行上料。其中巴氏消毒料温要保持在 58~62℃，保温 8 h，控温发酵温度保持在 48~52℃，控温发酵 4~5 d。出菇菇房为标准化出菇房，菇房采用 FANCOM 公司的菇房系统进行控制，保证出菇环境相同，播种、发菌、覆土和出菇管理均按常规方法进行^[8]。

1.5 培养料理化性质测定

分别对进一次发酵隧道（发酵 0 d）、一次转隧道（发酵 4 d）、二次转隧道（发酵 8 d）、三次转隧道（发酵 12 d）、进二次发酵隧道（发酵 16 d）和二次发酵结束（发酵 23 d）的培养料进行取样，其中一次料为进二次发酵隧道时期的培养料，二次料为二次发酵结束时的培养料。采用烘干法测定含水量：取不同发酵阶段培养料样品 500 g 于 105℃ 热风烘干箱中烘干 24 h，然后计算样品含水量，每个阶段样品重复 3 次。采用奥豪斯 pH 计进行 pH 值测定：取发酵各阶段样品 10 g 于 50 mL 蒸馏水中，充分搅拌混合浸泡 0.5 h 后进行测定。采用马弗炉灼烧

重量法测定灰分：准确称重发酵各阶段样品 1 g，550℃ 灼烧 4 h。采用凯氏定氮法测定含氮量^[9]。

1.6 产量统计及数据分析

用 Excel 2013 和 DPS v7.05 对各配方不同理化性质及产量数据进行统计分析，不同潮次出菇产量，以商品菇规格为标准进行切脚并称重。

2 结果与分析

2.1 不同含氮配方培养料发酵过程含氮量变化

根据原料的含氮量进行配方设计，实际测得各配方初始含氮量分别为 1.16%（T1）、1.38%（T2）以及 1.57%（T3），接近设计指标。由表 2 可见，不同含氮配方随着发酵过程的深入，含氮量均呈上升趋势，其含氮量的上升主要是由于微生物代谢活动对有机物的分解，以及微生物定殖增长。一次发酵结束，3 个处理含氮量差异逐渐缩小，随着二次发酵的进行，由于游离的氨气被微生物固定，初始含氮量较高的处理 T3 二次料含氮量为 2.28%，显著高于含氮量较低的处理 T1 和处理 T2（ $P<0.05$ ）。各处理发酵结束时的含氮量比较，初始含氮量越高，二次料含氮量也相对较高，但与初始含氮量存在较大的差异，随着发酵的进行，含氮量的差异逐渐缩小。

表 2 不同含氮配方培养料发酵过程含氮量变化
Table 2 N content of composts with varied nitrogen contents at different stages of composting (单位：%)

处理 Treatments	不同发酵阶段 Different stages of composting					
	进一次 Start phase I	一转 First turning	二转 Second turning	三转 Third turning	进二次 Start phase II	出料 End phase II
T1	1.16±0.01 k	1.37±0.02 j	1.59±0.02 hi	1.62±0.02 ghi	1.78±0.02 de	2.05±0.03 c
T2	1.38±0.02 j	1.43±0.02 j	1.67±0.01 fg	1.67±0.02 fg	1.81±0.02 d	2.20±0.06 b
T3	1.57±0.02 i	1.65±0.02 gh	1.72±0.03 ef	1.74±0.01 e	1.83±0.02 d	2.28±0.00 a

注：同列数据后不同字母表示不同处理之间差异显著（ $P<0.05$ ），表 3~5 同。
Note: Data with different letters on same column indicate significant differences between treatments（ $P<0.05$ ）. Same for Tables 3-5.

2.2 不同含氮配方培养料发酵过程 pH 变化

pH 是微生物代谢活动重要的影响因素，现代隧道发酵技术一般通过强制通气的方式促进有益微生物的生长代谢。随着微生物的代谢活动，培养料料温逐步升高，同时随着有机物质的分解产生大量的氨气，造成培养料 pH 呈弱碱性。由表 3 可见，不同含氮处理 pH 值变化趋势基本一致，呈现先升后降的趋势，最终使培养料 pH 呈弱碱性。其中含氮量较高的处理 T3 一次料以及二次料的 pH 最高，T3 处理二次料的 pH 值显著高于 T2 处理（ $P<0.05$ ）。可见 pH 和原料的含氮量呈正相关性，因此在发酵过程中

应特别注意氨气浓度的变化，若培养料含氮量过高，则需要注意二次发酵过程及出料前的氨气浓度的测定。

2.3 不同含氮配方培养料发酵过程水分变化

双孢蘑菇生长的水分主要来源于培养料。因此，发酵好的培养料含水量在适宜范围内对双孢蘑菇产量和质量具有决定意义。含水量的指标通常与原材料的物理性状有关，发酵好的二次培养料含水量控制在 65%~75% 比较适宜^[10]。由表 4 可以看出，在蘑菇培养料发酵过程，3 个处理的含水量变化趋势相同。含水量随着发酵过程不断降低，这主要由于发酵过程培养料的水分随微生物代谢活动产生的高

表 3 不同含氮配方培养料发酵过程 pH 变化
Table 3 pH of composts with varied nitrogen contents at different stages of composting

处理 Treatments	不同发酵阶段 Different stages of composting					
	进一次 Start phase I	一转 First turning	二转 Second turning	三转 Third turning	进二次 Start phase II	出料 End phase II
T1	8.10±0.08 bc	8.13±0.07 abc	8.13±0.03 abc	8.04±0.04 cd	7.82±0.08 ef	7.59±0.04 gh
T2	8.09±0.06 bc	8.12±0.03 abc	8.23±0.03 ab	8.16±0.02 abc	7.91±0.02 de	7.54±0.03 h
T3	8.23±0.04 ab	8.27±0.03 a	8.25±0.11 ab	8.14±0.02 abc	8.02±0.08 cde	7.72±0.03 fg

表 4 不同含氮配方培养料发酵过程含水量变化
Table 4 Moisture content of composts with varied nitrogen contents at different stages of composting (单位: %)

处理 Treatments	不同发酵阶段 Different stages of composting					
	进一次 Start phase I	一转 First turning	二转 Second turning	三转 Third turning	进二次 Start phase II	出料 End phase II
T1	79.26±0.49 a	76.23±1.20 bcd	75.28±0.92 cdef	72.12±0.88 g	72.12±0.97 g	66.75±0.52 h
T2	78.70±0.70 ab	75.69±0.91 cde	73.74±0.50 defg	72.90±1.46 fg	72.64±0.44 fg	67.62±0.95 h
T3	77.48±0.64 abc	76.22±0.64 bcd	74.32±1.09 defg	72.9±1.12 efg	72.11±0.84 g	65.78±0.86 h

温以及强制通风被带走。二次料含水量最低的为处理 T3, 为 65.78%, 与 T1、T2 处理的二次料含水量差异不显著 ($P>0.05$), 但显著低于其他发酵阶段的含水量 ($P<0.05$), 符合蘑菇生长需求。

2.4 不同含氮配方培养料发酵过程灰分变化

灰分决定了培养料中可利用干物质含量, 灰分越高则表明蘑菇菌丝可利用干物质越少, 因此同等质量下灰分较低的培养料, 可以提供更多的有机物供蘑菇菌丝利用。由表 5 可以看出, 在蘑菇培养料

发酵过程, 3 个处理的灰分变化趋势相同。由于发酵过程中微生物生长代谢使得有机物分解, 灰分则随着发酵过程不断提高。同时灰分很大程度与原料中的灰分含量关系密切, 由表 5 可以看出, 处理 T1 初始灰分最低, 发酵结束后, 二次培养料灰分为 30.92%, 显著低于其他两个处理 ($P<0.05$)。在蘑菇培养料的原料中灰分主要来源于鸡粪、石膏、小麦秸秆等, 由于含氮量提高对应的鸡粪含量相对增加, 因此含氮量高的原料配方灰分含量也相对较高。

表 5 不同含氮配方培养料发酵过程灰分变化
Table 5 Ash content of composts with varied nitrogen contents at different stages of composting (单位: %)

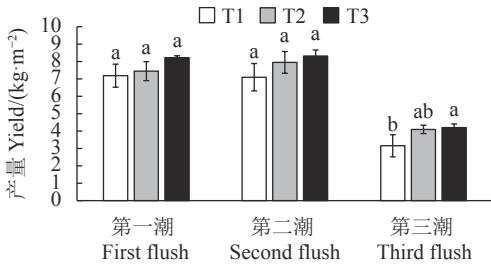
处理 Treatments	不同发酵阶段 Different stages of composting					
	进一次 Start Phase I	一转 First turning	二转 Second turning	三转 Third turning	进二次 Start phase II	出料 End phase II
T1	18.44±0.92 h	22.08±0.85 g	25.11±0.90 ef	27.29±1.04 de	28.31±0.18 cd	30.92±0.83 b
T2	21.95±0.92 g	22.51±0.72 g	25.32±0.99 ef	28.59±0.18 bcd	29.90±0.60 bc	33.81±0.77 a
T3	22.62±1.20 g	23.18±0.79 fg	26.58±0.35 de	28.86±1.02 bcd	30.06±0.23 bc	34.04±0.72 a

2.5 不同含氮配方培养料对双孢蘑菇产量的影响

由图 1 可以看出不同处理各采收潮次蘑菇产量的变化。产量最高的为 T3 处理, 为 $20.74\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。3 个处理的前二潮出菇产量较高, 分别占总产量的 81.90%、78.99%、79.73%。T1 处理的第三潮产量低于其他两个处理, 仅有 $3.16\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$, 而另外两个处理均超过 $4\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 。T3 处理的第三潮产量与 T1 处理的第三潮产量差异显著 ($P<0.05$)。相对而言, 含氮量较高的培养料其三潮菇产量更高, 同时菇质更加紧实。

3 讨论与结论

双孢蘑菇培养料堆制发酵过程是一个需要微生物



注: 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Data with different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$).

图 1 不同含氮配方培养料产量比较
Fig. 1 Yields of A. bisporus cultivated on composts of varied N contents

参与转化的过程,原材料中各种有机组分会被微生物消耗利用,并被转化为适宜双孢蘑菇利用的选择性培养料。目前隧道发酵配方碳氮配比多为1.20%~1.50%,因此本研究根据原料的含氮量进行配方,分别设计含氮量为1.15%(T1)、1.35%(T2)以及1.55%(T3)3个配方处理,在保证一定的出菇产量前提下设置的3个配方处理涵盖了目前主流配方含氮量,且上下限都超出常规配方要求。本研究采用隧道发酵技术比较了不同含氮培养料堆制发酵过程中理化性质的变化,在培养料堆制发酵过程的不同阶段,3个配方处理的培养料含氮量及灰分比例呈上升趋势,含水量则呈下降趋势,pH则总体呈弱碱性。在所有处理二次培养料中,处理T1的二次发酵料灰分最低,为30.92%;处理T3二次发酵料含氮量最高,为2.28%;处理T3三潮产量最高,为20.74 kg·m⁻²。在发酵过程中,由于微生物的代谢作用,原材料中的有机物质被分解为水和二氧化碳,并产生热量,加快了原材料腐熟和水分蒸发,因此在发酵过程中含碳量及水分呈下降趋势。同时,不能被代谢分解的矿质元素含量相对提高,从而导致培养料灰分含量随着发酵过程逐渐升高。随着微生物的繁殖生长,特别是二次发酵控温培养阶段,嗜热放线菌的不断繁殖,使pH呈弱碱性,同时产生大量的菌体蛋白,提高了培养料含氮量。姚琴等^[11]研究表明,随着培养料发酵过程的进行全氮的绝对量减少,但相对含量成上升趋势,与本研究的结果一致。KARIAGA等^[12]通过对培养料堆制过程中生物及理化因素进行研究,表明蘑菇培养料的选择性与培养料的理化性质相关。

隧道发酵是一种强制通风的发酵方法,Wakchaure等研究表明通风是控制堆肥周期及质量的关键参数之一^[13]。采用隧道式发酵技术可以缩短制料周期,同时提高培养料质量^[14]。当前越来越多的工厂化企业采用隧道发酵制备蘑菇培养料,并形成了专门的堆肥公司^[15]。随着双孢蘑菇工厂化栽培技术工艺的不断进步,双孢蘑菇单产水平逐步提升,为了保证产量、质量协调提升,必须有充足的营养源,这就导致培养料中含氮量比例在逐渐提升,但随着培养料含氮量越来越高,容易引起培养料绿霉病的发生。因此,必须加强培养料隧道发酵和双孢蘑菇栽培技术管理。

参考文献:

[1] 柯斌榕,兰清秀,卢政辉,等.福建省双孢蘑菇栽培技术的变革与发展[J].食用菌,2017,25(1):12-19.

- KE B R, LAN Q X, LU Z H, et al. Innovation and development of *Agaricus bisporus* cultivation techniques in Fujian Province [J]. *Edible and Medicinal Mushrooms*, 2017, 25 (1): 12-19. (in Chinese)
- [2] 卢政辉. 双孢蘑菇培养料堆制技术的变革和最新进展 [J]. *中国食用菌*, 2009, 28 (1): 3-5.
- LU Z H. Changes and latest progress in the technology of composting agaric mushroom [J]. *Edible Fungi of China*, 2009, 28 (1): 3-5. (in Chinese)
- [3] 张昊琳,陈青君,张国庆,等.不同基质培养料理化性状及其对双孢蘑菇农艺性状与产量的影响[J].*中国农业科学*,2017,50(23):4622-4631.
- ZHANG H L, CHEN Q J, ZHANG G Q, et al. The physical and chemical properties of different substrates and their effects on agronomic traits and yield of *Agaricus bisporus* [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50 (23): 4622-4631. (in Chinese)
- [4] 蒋毅敏,朱华龙,赵昀,等.双孢菇不同碳氮比培养料配方的应用试验[J].*广西农学报*,2012,27(1):28-30,48.
- JIANG Y M, ZHU H L, ZHAO Y, et al. An experiment of nutrient for *Mula* in common cultivatea mushroom cultivation [J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2012, 27 (1): 28-30, 48. (in Chinese)
- [5] 许修宏,刘颜平,王博.堆肥隧道式后发酵技术及效果[J].*农业工程学报*,2009,25(11):297-300.
- XU X H, LIU Y P, WANG B. Technology and effect of Phase II composting in compost tunnel [J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25 (11): 297-300. (in Chinese)
- [6] 朱燕华,王倩,宋晓霞,等.基于稻、麦秸秆工厂化栽培双孢蘑菇的理化性质变化研究[J].*中国农学通报*,2017,33(7):86-91.
- ZHU Y H, WANG Q, SONG X X, et al. Industrial cultivation of *Agaricus bisporus* based on rice straw and wheat straw: changes of physical and chemical characteristics [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33 (7): 86-91. (in Chinese)
- [7] MARK D O. Mushroom Signal [M]. Zutphen: Roodbont Publishers, 2018: 16-40.
- [8] 王泽生,王波,卢政辉.图说双孢蘑菇栽培关键技术[M].北京:中国农业出版社,2011:1-72.
- [9] 柯斌榕,蔡志英,卢政辉,等.杏鲍菇和金针菇菌渣堆肥的发酵特性及双孢蘑菇栽培试验[J].*江苏农业科学*,2018,46(22):153-155.
- KE B R, CAI Z Y, LU Z H, et al. Fermentation characteristics of spent mushroom substrate of *Pleurotus eryngii* and *Flammulina velutiper* and cultivation test of *Agaricus bisporus* [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46 (22): 153-155. (in Chinese)
- [10] OEI P. Mushroom cultivation: appropriate technology for mushroom growers [M]. Leiden: Backhuys Publisher, 2003, 84-93.
- [11] 姚琴.双孢蘑菇培养料配方及发酵过程中物质变化规律研究[D].南京:南京农业大学,2014.
- YAO Q. Research *Agaricus culture* material formulations and changes of substance in the fermentation process [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [12] KARIAGA M G, NYONGESA H W, KEYA N C O, et al. Compost

- physico-chemical factors that impact on yield in button mushrooms, *Agaricus bisporus*(lge) and *Agaricus bitorquis*(quel)saccardo [J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 3 (1) : 49–54.
- [13] WAKCHAURE G C, KAMLESH K M, CHOUDHARY R L, et al. An improved rapid composting procedure enhance the substrate quality and yield of *Agaricus bisporus* [J]. *African Journal of Agricultural Research*, 2013, 8 (35) : 4523–4536.
- [14] 黄建春, 黄丹枫. 双孢蘑菇培养料集中发酵工艺技术研究及其应用 [J]. *上海农业学报*, 2005, 21 (2) : 53–57.
- HUANG J C, HUANG D F. Experiment and application of concentrated fermentation technology of *Agaricus bisporus* compost [J]. *Acta Agriculturae Shanghai*, 2005, 21 (2) : 53–57. (in Chinese)
- [15] 邓德江, 魏金康. 荷兰工厂化栽培双孢菇技术 [J]. *北京农业*, 2009 (27) : 25–27.
- DENG D J, WEI J K. Industrialized cultivation of *Agaricus bisporus* in Netherlands [J]. *Beijing Agriculture*, 2009 (27) : 25–27. (in Chinese)
- (责任编辑: 张梅)